



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TENSÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS EM SITUAÇÕES DE CONTINGÊNCIAS

**Arend, Gustavo**

Aluno de Mestrado do PPGEE da UFSM – Universidade Federal de Santa Maria – CEESP  
(Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência)

[gustavoarend@gmail.com](mailto:gustavoarend@gmail.com)

**Ney, Rafael Crochemore**

Aluno de Mestrado do PPGEE da UFSM – Universidade Federal de Santa Maria – CEESP  
(Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência)

[rafael.ney@gmail.com](mailto:rafael.ney@gmail.com)

**Bernardon, Daniel Pinheiro**

**Professor Associado** da UFSM – Universidade Federal de Santa Maria – CEESP (Centro de  
Excelência em Energia e Sistemas de Potência)

[dpbernardon@ufsm.br](mailto:dpbernardon@ufsm.br)

**Resumo:** *O presente estudo fornece através de simulações computacionais alguns aspectos da operação do Sistema Acadêmico Rede IEEE 14 Barras, com o objetivo de avaliar o comportamento do modelo na ocorrência de contingências operacionais baseadas em situações reais análogas, com vistas a garantir a estabilidade de tensão na região. A partir dos resultados alcançados foram inseridos novos elementos e barras e realizadas novas simulações para medir o comportamento da rede modificada.*

**Palavras-chave:** *Fluxo de Potência. Fluxo de Potência Continuado. Simulações Computacionais.*

### 1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de avaliar a operação em condições adequadas do Sistema Acadêmico IEEE 14 barras, são realizadas simulações computacionais com vistas a verificar os resultados obtidos para as situações de contingência e após a inserção de novos elementos na rede em estudo,

utilizando as análises pelo método de Fluxo de Potência e de Estabilidade de Tensão.

O estudo de Fluxo de Potência tem a finalidade de averiguar o comportamento em regime permanente, analisando para uma dada configuração da rede elétrica, o nível de tensão nos barramentos e o carregamento dos equipamentos e linhas de transmissão.

Em relação a avaliação de Estabilidade de Tensão, o método utilizado foi o do Fluxo de Potência Continuado, o qual tem por base incrementar gradativamente a carga de um sistema até o atingimento do limite de carregamento de uma ou mais barras [2].

Como suporte operacional este estudo utilizou-se do sistema do Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL), denominado ANAREDE [1] e o software PLOT CEPEL, para obtenção de resultados com representação gráfica.

### 2. SISTEMA ANALISADO

A partir do objetivo exposto, buscou-se adequar inicialmente a rede IEEE 14B, inserindo uma nova barra (Barra-15—HV) para simular um gerador próximo a carga,

com 100% da capacidade de geração (condição ideal), com 60% da potência máxima (condição planejada) e com o gerador indisponível (condição real).

Em prosseguimento, insta destacar que para este estudo, as contingências foram baseadas em situações reais de impacto semelhante. Para isso são considerados os seguintes equipamentos fora de operação:

- Contingência na LT 2-3-4, por tratar-se de sistemas semelhantes pois possuem geração e compensação de reativos;
- Contingência na LT 4-9, pois ambas situavam-se próximo as Barras com restrição operacional e próxima a Barra de geração que contribui significativamente para a operação normal da região;
- Disponibilidade da Geração conectada a Barra-15—HV);

Por fim, será representada no segundo lote de simulações, a inserção de novos elementos e equipamentos para adequar a condição de operação do sistema elétrico da Região, a partir das simulações realizadas. Para tal, foi inserida no diagrama base, uma nova barra de referência (Barra-16—HV) em localização elétrica distante da Barra de Referência original (Barra-01—HV) conectada diretamente às Barras 13 e 14, através de duas Linhas de Transmissão.

As características das novas barras inseridas no diagrama padrão do IEEE são as seguintes:

Tabela 1. Características das barras inseridas na Rede IEEE 14 Barras

Características Novas Barras		Barra		
		15	16	
Tipo		PV	Referência	
Geração	MW	50	120	
	MVAr	21	20	
Linha de Transmissão	De-Para	15->9	16->13	16->14
	MVA Normal	70	120	70
	MVA Emerg	100	150	100
	Reatância %	5	8	8
TAP	Especif	0,975	0,975	0,975
	Min	0,95	0,95	0,95
	Máx	1,05	1,05	1,05

Assim, foram criados cinco cenários operativos, os quais serão simulados em dois

lotes, o primeiro mantendo a referência do sistema na Barra-1--HV, e o segundo com a inserção da nova Barra de Referência, Barra-16--HV. Os cinco cenários avaliados estão apresentados abaixo:

Tabela 2. Cenários de simulação

Cenário 1	Barra 15 com geração 100%
Cenário 2	Barra 15 com geração 60%
Cenário 3	Barra 15 sem geração
Cenário 4	Contingência LT 3-2-4
Cenário 5	Contingência LT 4-9

### 3. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

A partir de simulação inicial, em todas as situações acima descritas, os dados obtidos para as barras em análise a partir do método de Fluxo de Potência (FP) pelo Anarede, com a manutenção da Barra de Referência original Barra-01--HV, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Fluxo de Potência com a referência somente na Barra-01--HV

Fluxo de Potência -Caso Barra Referencia 1					
Barra	V(pu)				
	1	2	3	4	5
15	1,000	1,000	1,000	1,001	0,941
9	1,026	1,022	0,997	0,956	0,896
6	1,020	1,020	1,020	0,955	0,931
13	1,003	1,002	0,998	0,935	0,905
14	0,997	0,995	0,979	0,926	0,878

Nessa senda, buscando avaliar a Margem de Estabilidade de Tensão e o Ponto Crítico de Operação do Sistema, realizou-se através de Fluxo de Potência Continuo (FPC), a identificação dos limites operativos de Potência e Tensão Críticas. Para tal avaliação, foram obtidos os seguintes dados:

Tabela 4. Fluxo de Potência Continuo com a referência somente na Barra-01--HV

Fluxo de Potência -Caso Barra Referencia 1					
	V(pu)				
	1	2	3	4	5
Barra Critica	14	14	14	3	3
Pc (MW)	619,58	596,06	527,59	287,51	287,1
Vc (pu)	0,701	0,68	0,656	0,691	0,708

O resultado obtido para a Barra 14, nos cenários 4 e 5, estão listados na Tabela 5.

Tabela 5. Fluxo de Potência Continuado, Barra-14--HV com a referência somente na Barra-01—HV nos cenários 4 e 5

	4	5
Pc (MW)	287,51	287,1
Vc (pu)	0,816	0,771

Em comparação, quando iniciamos os estudos de Fluxo de Potência a partir da inserção da Barra-16—HV (Referência), obtemos os seguintes resultados para os mesmos cenários propostos anteriormente:

Tabela 6. Fluxo de Potência com referência na Barra-16--HV

Fluxo de Potência -Caso Barra Referencia 16					
Barra	V(pu)				
	1	2	3	4	5
15	1,000	1,000	1,003	1,000	1,000
9	1,026	1,022	1,000	1,015	1,016
6	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020
13	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026
14	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026

Além disso, avaliando-se pelo método de Fluxo de Potência Continuado, os níveis de estabilidade de tensão do sistema em tela, observa-se a migração da região crítica, conforme abaixo:

Tabela 7. Fluxo de Potência Continuado com referência na Barra-16--HV

Fluxo de Potência -Caso Barra Referencia 16					
	V(pu)				
	1	2	3	4	5
Barra Critica	3	3	3	3	3
Pc (MW)	861,71	853,88	826,65	432,3	421,48
Vc (pu)	0,69	0,6775	0,673	0,687	0,679

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A partir do sistema com referência na Barra-01--HV, identifica-se, para o cenário dois (02), mantém valores apropriados para a operação deste sistema.

Nesse passo, ao avaliar-se o cenário cinco (05), ou seja, a pior situação operativa, constata-se que os dados alcançados para a Barra-13--HV e Barra-14--HV, são similares aos identificados em sistemas reais sob condições análogas, onde o resultado encontrado é de 0,878 pu.

Nessa condição, confirmam-se os resultados em modelo acadêmico Rede IEEE 14 Barras, após a entrada em operação das instalações, onde comprova-se que o nível de tensão na Região em análise, mantém sua estabilidade mesmo em ocorrências significativas em áreas vizinhas.

Em resumo, nos casos simulados, para as referências na Barra-01--HV e, posteriormente na Barra-16--HV, observa-se que a tensão crítica basicamente gira em torno de 0,700 pu, restando divergência na comparação da Potência máxima para a região de estabilidade, consequência da entrada em operação do novo sistema de geração na Região da Barra-14--HV.

Para ratificar as conclusões acima expostas é possível avaliar abaixo a comparação através dos recursos do software Plot Cepel, das curvas de estabilidade da Barra-14—HV, nas duas situações, referência somente na Barra-01—HV e referência incluída na Barra-16—HV, para os cenários três (3) e cinco (5).

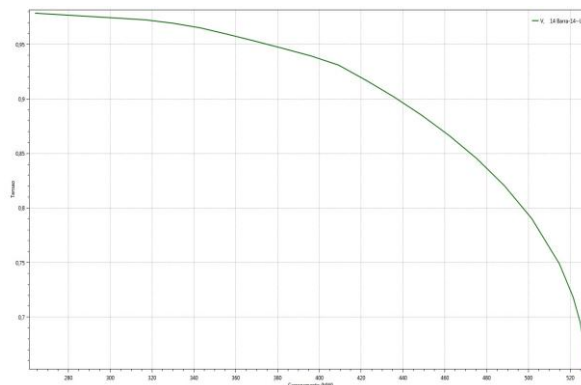


Figura 1 - Tensão - Fluxo de Potência Continuado com referência na Barra-01—HV para o cenário 3

A tensão na Barra-14 -- HV através do Fluxo de Potência Continuada com referência na Barra-16 -- HV para os cenários 3 e 5, ficou constante em 1,025 p.u..

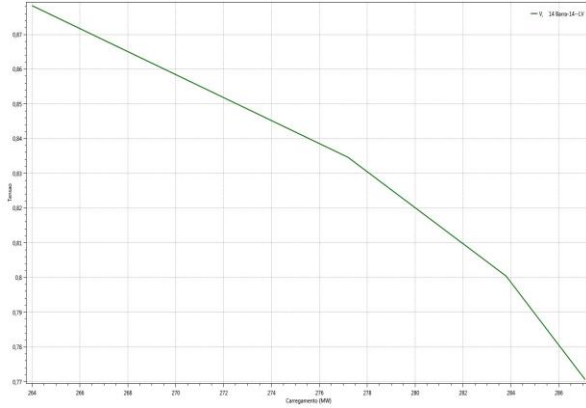


Figura 2 – Tensão - Fluxo de Potência Continuada com referência na Barra-01— HV para o cenário 5

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi possível a partir do modelo acadêmico Rede IEEE 14 Barras, evidenciar o êxito resultante da entrada em operação de um novo sistema de referência de tensão, a qual teve por objetivo melhorar os níveis de tensão e carregamento na região que possuía níveis críticos operacionais em período anterior.

Assim, a partir dos dados e gráficos já apresentados, que o problema de tensão na Região, passou de um cenário crítico, para um cenário de maior margem de operação conforme observado nos resultados experimentais obtidos.

De mesma forma, ao melhorar as condições de uma região elétrica, transfere-se a condição crítica de operação para outra área, o que fica evidenciado a partir dos resultados obtidos.

Por fim, o caso estudado permitiu o aprofundamento do uso dedicado da ferramenta computacional ANAREDE (CEPEL) e principalmente a maior experimentação dos métodos de Fluxo de Potência e Fluxo de Potência Continuada.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Manual do usuário do programa de análise de redes - ANAREDE: Versão 10.00.01 . Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- [2] R. Biazzi , “Análise da estabilidade de tensão em sistemas elétricos de potência,” Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica, 66p, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.